

IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE ANOMALIAS DE CHUVAS EM DOIS MUNICÍPIOS DO SUL DA BAHIA ENTRE 1980 E 2023

IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE ANOMALÍAS DE LLUVIA EN DOS MUNICIPIOS DEL SUR DEL ESTADO DE BAHIA, BRASIL, ENTRE 1980 Y 2023

DAVI SANTIAGO AQUINO

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) *campus* Eunápolis
davi.aquino@ifba.edu.br

KIMBERLY DOS SANTOS SANCHES

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) *campus* Eunápolis
kimsanches4@gmail.com

PRISCILA ROCHA DA CRUZ SILVA

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) *campus* Eunápolis
priscillaroccha@gmail.com

LILIAN LOPES CORDEIRO

Especialista em Gestão, Licenciamento e Auditoria Ambiental 2Tree Ambiental.
liliancordeiro@2tree.com.br

Resumo: Grandes volumes de chuva, principalmente quando incidem num curto período de tempo, possuem elevado potencial de riscos a catástrofes com implicações materiais e de vidas humanas, como o evento que ocorreu entre os anos de 2021 e 2022 no sul do estado da Bahia e em outras regiões do Brasil. Assim, pesquisadores têm desenvolvido e utilizado ferramentas simples que utilizam os volumes de chuva como dados de entrada e podem fornecer informações específicas sobre tendências do regime pluviométrico. Uma dessas ferramentas é o índice de anomalia de chuvas (IAC) que retorna valores adimensionais positivos para eventos de muita chuva e valores negativos em períodos de seca. Essa pesquisa objetivou aplicar essa metodologia às estações meteorológicas da rede do Instituto Nacional de Meteorologia eventualmente presentes nos 70 municípios do sul da Bahia para os anos de 1980 a 2023 com a finalidade de identificar e analisar possíveis anomalias no regime de chuvas na região. Foram encontradas sete estações, mas apenas duas delas apresentaram série histórica suficiente: as de Caravelas e de Guaratinga. Em ambos os casos, a análise dos valores anuais de IAC não representou nítida tendência de eventos extremos a seca ou a chuvas severas. Todavia, nos dois meses tipicamente mais chuvosos, quais sejam: novembro e dezembro anomalias extremas foram identificadas nos anos mais recentes da série histórica para valores excessivos de chuva. Esse panorama sugere que as chuvas estejam se concentrando nesses meses, o que requer readequação das políticas públicas de prevenção a alagamentos, inundações e deslizamentos de terra, bem como a expansão dos sistemas de drenagem pluvial.

Palavras-chave: Hidrologia. Mudanças climáticas. Pluviosidade. Tendência.

Resumen: Grandes volúmenes de lluvia, especialmente cuando caen en un corto período de tiempo, tienen un alto potencial de riesgo de catástrofes con implicaciones materiales y vidas humanas, como el evento ocurrido entre 2021 y 2022 en el sur del estado de Bahía, y en otras regiones de Brasil. Por lo tanto, los investigadores han desarrollado y utilizado herramientas simples que utilizan los volúmenes de lluvia como datos de entrada y pueden proporcionar información específica sobre las tendencias de las precipitaciones. Una de estas herramientas es el índice de anomalías de lluvia (IAC), que arroja valores adimensionales positivos para eventos de lluvias intensas

y valores negativos en períodos secos. Esta investigación tuvo como objetivo aplicar esta metodología a las estaciones meteorológicas de la red del Instituto Nacional de Meteorología eventualmente presentes en los 70 municipios del sur de Bahía durante los años 1980 a 2023 con el fin de identificar y analizar posibles anomalías en el régimen de precipitaciones en la región. Se encontraron siete estaciones, pero sólo dos de ellas presentaron series históricas suficientes: Caravelas y Guaratinga. En ambos casos, el análisis de los valores anuales de IAC no representó una tendencia clara de eventos extremos, sequía o lluvias intensas. Sin embargo, en los dos meses típicamente más lluviosos, a saber: noviembre y diciembre, se identificaron anomalías extremas en los años más recientes de la serie histórica por precipitaciones excesivas. Este panorama sugiere que las lluvias se concentran en estos meses, lo que requiere el reajuste de las políticas públicas para prevenir inundaciones, inundaciones y deslizamientos, así como la ampliación de los sistemas de drenaje de aguas pluviales.

Palabras clave: Hidrología. Cambios climáticos. Lluvia. Tendencia.

Introdução

O regime pluviométrico é um fator que atinge diretamente questões socioeconômicas de uma região, uma vez que tanto períodos de chuva excessiva quanto de seca extrema acarretam consequências negativas para setores como infraestrutura, abastecimento humano, agricultura, pecuária, turismo e indústria. Desse modo, estudar a pluviometria auxilia na compreensão de como a variabilidade climática influencia nas atividades sociais e econômicas desenvolvidas em uma região, bem como esta pode ocasionar problemas para a comunidade ali inserida, sendo necessário seu estudo para fomentar a criação de políticas públicas associadas aos recursos hídricos, tendo como premissa os usos múltiplos da água, assegurada pela Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

No final do ano de 2021, chuvas intensas incidiram sobre algumas regiões do Brasil, como em parte dos estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia, provocando sérias perdas materiais, de infraestrutura e de vidas humanas. Tal evento hidrológico extremo foi principalmente causado por três episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul, associados a baixas temperaturas do mar no Oceano Pacífico, fenômeno este conhecido por *La Niña*. Especificamente para o sul e extremo sul baianos, foram registradas precipitações pluviais recordes para o mês de dezembro do referido ano, visto que em 2021 as estações meteorológicas localizadas nos municípios de Ilhéus e de Caravelas mediram as maiores pluviosidades para esse mês desde o ano de 1961 (MARENGO *et al.*, 2023).

Na comunidade científica, há uma grande preocupação dos pesquisadores em analisar as variabilidades climáticas que estão acontecendo no planeta, principalmente no que se refere a um possível aumento de eventos de precipitações intensas. Alguns métodos estatísticos são usados para identificar tendências ou variações hidrológicas e meteorológicas, especialmente

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n.2, p. 48-63, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981-4089 de temperatura e de precipitação. Nesse contexto, um dos mecanismos utilizados para estudar a precipitação pluviométrica de um local é o cálculo do Índice de Anomalia de Chuva, o qual ajuda a monitorar a ocorrência de seca e/ou chuva excessiva, permitindo um maior entendimento de como fenômenos climáticos, tal qual o aquecimento global, impactam o clima e a distribuição pluviométrica de uma região, bem como compreender e classificar o regime pluviométrico quanto a severidade dos ciclos secos e chuvosos.

Originalmente desenvolvido no ano de 1965, o *Rainfall Anomaly Index* ou, em português, Índice de Anomalia de Chuva (IAC) é utilizado para classificar as severidades positivas e negativas nas anomalias de precipitações (ROOY, 1965). Posteriormente, esse índice teve sua metodologia e aplicação adaptadas às condições da região Nordeste do Brasil e partir de então, alguns estudos foram direcionados no sentido de se avaliar a ocorrência de possíveis comportamentos anômalos em relação à precipitação em algumas regiões brasileiras utilizando essa ferramenta (BEZERRA *et al.*, 2021; LIMA *et al.*, 2023; SANTOS *et al.*, 2024).

Uma das facilidades de se utilizar o IAC é o fato dele requerer como dados de entrada apenas uma série histórica com valores de precipitação, que geralmente são obtidos por intermédio de banco de dados de um órgão de meteorologia ou de monitoramento ambiental. Todavia, para estudos hidrológicos consistentes, é recomendável que sejam utilizadas séries históricas com ao menos 20 anos de dados válidos, haja vista que quanto maior o tamanho amostral, mais confiáveis serão os resultados obtidos (CLARK, 2015). Portanto, no Brasil, uma fonte confiável para obtenção dos valores mensais de precipitação total é o BDMET - Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia, que é o sistema de coleta e distribuição de dados meteorológicos do referido instituto que possui um conjunto de três tipos de estações, quais sejam: estações de sondagem de ar superior, também conhecidas como radiossondas; estações meteorológicas de superfície, que são operadas manualmente; e as estações automáticas. Por intermédio desse sistema de dados são disponibilizadas informações inerentes, tais como: temperatura, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica, precipitação e outras (INMET, 2024).

Assim, devido à ausência de estudo específico para o sul do estado da Bahia e tendo em vista que as chuvas que atingiram a região no final do ano de 2021 tiveram consequências catastróficas (MARENGO *et al.*, 2023), o presente trabalho objetivou calcular e analisar as anomalias de chuvas na referida região utilizando como dados de entrada as pluviometrias

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n.2, p. 48-63, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981-4089 mensais registradas de janeiro de 1980 até dezembro de 2023 das estações meteorológicas constantes na rede de monitoramento do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Material e métodos

A execução da metodologia de cálculo dos Índices de Anomalia de Chuva (IAC) consistiu na aplicação das equações (1) e (2), que, como já abordado, requerem como dados de entrada os valores de precipitação em intervalos regulares (geralmente, meses ou anos) pertencentes a uma série histórica.

$$IAC = 3 \left(\frac{N - \bar{N}}{\bar{M} - \bar{N}} \right), \text{ para anomalias positivas} \quad (1)$$

$$IAC = 3 \left(\frac{N - \bar{N}}{\bar{X} - \bar{N}} \right), \text{ para anomalias negativas} \quad (2)$$

onde:

IAC = índice de anomalia de chuva, adimensional

N = precipitação anual ou mensal, em mm

\bar{N} = precipitação média anual ou mensal da série histórica, em mm

\bar{M} = média das dez maiores precipitações anuais ou mensais da série histórica, em mm

\bar{X} = média das dez menores precipitações anuais ou mensais da série histórica, em mm

Como a região do sul do estado da Bahia é composta por 70 municípios, para obtenção dos dados de entrada do IAC, inicialmente foi necessário identificar-se quantas e quais são as estações meteorológicas do INMET presentes na região de estudo. Após essa identificação, os dados de precipitação mensal de cada estação foram obtidos e sistematizados para o período de estudo: entre janeiro de 1980 e dezembro de 2023. Para o cálculo dos valores anuais de IAC, o total de chuvas de cada ano em cada estação foi obtido pela soma dos seus valores mensais.

Assim, qualquer ano que apresentou falha de registro de precipitação em algum mês foi descartado, para garantir a confiabilidade dos dados. Dessa forma, após esse tratamento,

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n.2, p. 48-63, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981-4089 utilizaram-se as séries históricas com ao menos 20 anos de dados válidos, seguindo a recomendação feita para estudos hidrológicos dessa natureza (CLARK, 2015).

As séries históricas passíveis de análise tiveram então seus valores anuais de IAC determinados pela aplicação das equações (1) e (2), cujos dados de entrada foram os totais de chuvas registrados em cada ano. Conforme a lógica do método, cada ano que retornou um valor positivo de IAC significou que, na conjuntura da série de dados estudada, aquele ano apresentou uma tendência de maior precipitação. Similarmente, anos nos quais os valores de IAC foram negativos indicaram períodos de menor incidência de chuva. Ademais, cada valor de IAC obtido foi ainda classificado pela sua intensidade segundo o critério proposto originalmente por Araújo *et al.* (2009), o qual é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação das valores de índice de anomalia de chuva (IAC)

Intervalo de IAC	Classe de intensidade
$IAC > 4,00$	Extremamente úmido
$2,00 < IAC \leq 4,00$	Muito úmido
$0,00 < IAC \leq 2,00$	Úmido
$- 2,00 < IAC \leq 0,00$	Seco
$- 4,00 < IAC \leq - 2,00$	Muito seco
$IAC < - 4,00$	Extremamente seco

Fonte: Araújo *et. al*, 2009.

Ainda em relação aos valores anuais de IAC, eles utilizados para se gerar uma distribuição temporal de cada estação de forma gráfica, visando melhor visualização e identificação de possíveis tendências anômalas do comportamento histórico do total precipitado ao longo do período de abrangência do presente trabalho (1980 a 2023).

Na sequência, para se fazer análise similar, porém com dados mensais, para as mesmas séries históricas utilizadas nas análises anuais, identificaram-se os dois meses mais chuvosos de cada série e procedeu-se com o mesmo estudo, porém para cada um desses dois meses em cada estação. Tal procedimento visou identificar anomalias mensais ao longo das séries históricas, uma vez que se num determinado ano a chuva esperada num mês precipitou em outro, a análise anual de IAC não identifica tal comportamento.

Resultados e discussão

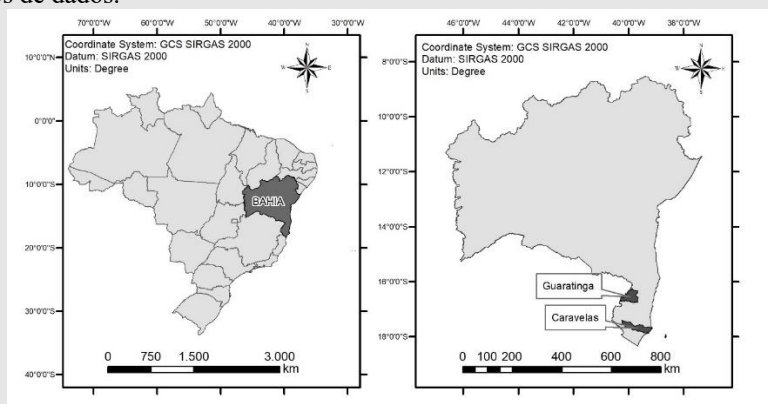
Foram identificadas sete estações pertencentes à rede de monitoramento do INMET ao longo dos 70 municípios que compõem a região sul do estado da Bahia. Quatro dessas estações

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n.2, p. 48-63, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981-4089 são automáticas e estão localizadas nos municípios de Belmonte, Ilhéus, Itamaraju e Porto Seguro. As outras três são estações convencionais e se localizam nos municípios de Caravelas, Guaratinga e Ilhéus. Todavia, todas as quatro estações automáticas e a estação convencional de Ilhéus não apresentaram o mínimo de 20 anos de dados de precipitação disponíveis e, por isso, suas séries históricas não se apresentaram como aptas para o estudo hidrológico aqui proposto.

A pequena quantidade de dados das estações automáticas é explicada pelo ano de início de operação delas, que ocorreu em 2009 em Belmonte, 2003 em Ilhéus, 2016 em Itamaraju e em 2008 em Porto Seguro. Embora a de Ilhéus tenha mais de 20 anos de operação, ela apresentou falhas mensais de dados em 15 desses anos de monitoramento. Por sua vez, a estação convencional de Ilhéus apresentou dados disponíveis apenas até setembro de 1997, o que implica também em menos que 20 anos de dados completos no período considerado pelo presente estudo (1980 a 2023).

Logo, apenas as estações convencionais localizadas nos municípios de Caravelas e de Guaratinga apresentaram séries históricas com quantidade mínima suficiente para se realizarem as análises dos seus índices de anomalia de chuva. A localização espacial desses dois municípios está representada no mapa da Figura 1. A estação de Caravelas é identificada pelo código INMET 83498, está instalada no local de coordenadas 17°44'22" de latitude Sul e 39°15'31" de longitude Oeste, a uma altitude de 6,05m. Por sua vez, a de Guaratinga tem código 83446, coordenadas 16°34'51" de latitude Sul e 39°46'59" de longitude Oeste e uma altitude de 197,88m (INMET, 2024).

Figura 1. Localização espacial dos municípios nos quais foram encontradas séries históricas de precipitação com o mínimo de 20 anos de dados.



Fonte: Autoria própria

Dos 44 anos abrangidos no período temporal deste estudo, a estação de Caravelas apresentou 31 anos sem nenhuma falha de precipitação mensal e a de Guaratinga teve 36 anos de registros completos. Observou-se que a média de precipitação anual na estação de Caravelas foi de 1.426,3mm com 22,3% de coeficiente de variação, enquanto esses dados para a estação de Guaratinga foram de 1.111,5mm e 20,8%, resultados condizentes com as características climáticas da região do sul da Bahia, onde predomina o clima úmido a subúmido com pluviometria anual variando de 1.100 mm a 1.500 mm (SEI, 2015). Ademais, na Tabela 2 são apresentadas as informações de estatística descritiva dos valores mensais de precipitação advindos dessas duas estações. Pode-se observar que para Caravelas os dois meses mais chuvosos são novembro e dezembro, respectivamente, enquanto para Guaratinga são dezembro e novembro, nessa ordem. Ou seja: quanto à preocupação de maiores volumes de chuva, em geral, o final do ano é o período mais crítico para esses dois municípios.

Tabela 2. Dados descritivos do perfil de precipitação mensal entre os anos de 1980 e 2023 das estações convencionais de Caravelas e Guaratinga, no sul do Estado da Bahia

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Caravelas												
Média, mm	86,3	68,3	136,2	157,8	133,5	88,9	107,5	72,4	82,3	121,2	213,3	159,6
Mínimo, mm	12,5	0,4	8,1	8,6	30,0	3,6	16,6	8,9	5,6	5,8	17,4	11,9
Máximo, mm	288,3	242,6	359,5	511,4	343,0	243,3	251,6	203,3	311,4	334,9	463,1	504,6
CV (%)	90,0	89,2	61,8	61,6	59,3	59,9	57,6	63,5	77,0	59,4	55,3	71,4
Guaratinga												
Média, mm	109,4	87,9	118,9	100,1	67,9	57,5	61,4	55,1	54,8	90,3	156,2	166,1
Mínimo, mm	12,8	1,0	9,9	3,4	2,8	1,1	11,6	6,8	2,4	4,6	4,7	7,5
Máximo, mm	406,1	200,2	346,6	276,4	240,1	158,8	143,1	163,1	195,6	240,9	340,8	489,6
CV (%)	82,6	65,6	65,6	59,1	67,6	66,3	49,4	62,4	75,1	67,5	59,6	63,1

CV = coeficiente de variação.

Fonte: INMET (2024)

Para a estação de Caravelas, quanto às anomalias de chuvas anuais, dos 31 anos que tiveram seu IAC calculado, os valores variaram entre -5,0 (ano de 2015) e + 5,6 (1992). A distribuição das categorias de intensidade dos IAC anuais de Caravelas está apresentada na Tabela 3.

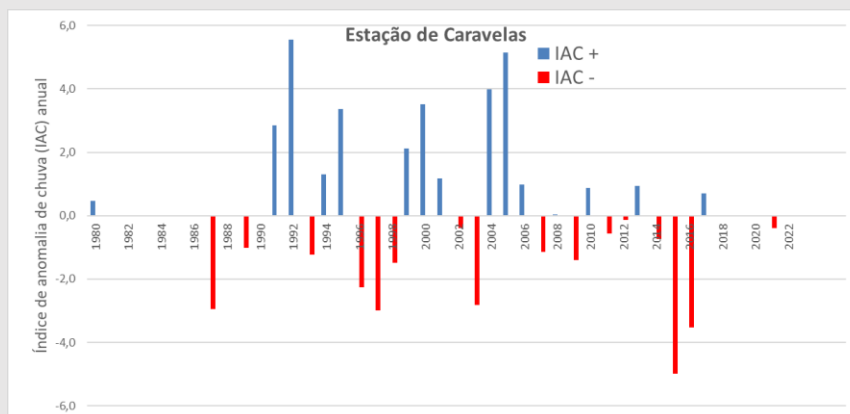
Tabela 3. Categorização dos valores anuais do índice de anomalia de chuva para a estação de Caravelas

Classe de intensidade	Quantidade de IAC
Extremamente úmido	2
Muito úmido	5
Úmido	8
Seco	9
Muito Seco	4
Extremamente Seco	3
Total	31

Fonte: autoria própria

Pode-se perceber, portanto, que anos com anomalias extremas, considerados tanto como extremamente úmidos quanto extremamente secos foram raros, com apenas 2 e 3 ocorrências, respectivamente. As classes mais frequentes observadas para essa estação foram seca e úmida, que são as categorias menos severas de intensidade. Adicionalmente, corroborando com a possível fraca intensidade das anomalias observadas, dos 31 valores de IAC, 15 foram positivos e 16 negativos, muito embora o valor acumulado de IAC tenha resultado em + 5,0. Ou seja: pelos valores de chuvas anuais analisados para a estação de Caravelas, o comportamento dos índices de anomalia de chuva sugere certo equilíbrio entre anos com tendência a seca e anos com tendência a maiores pluviometrias. Por intermédio da Figura 2 pode-se entender melhor o comportamento temporal dos valores anuais de IAC para Caravelas.

Figura 2. Distribuição temporal do índice de anomalia de chuva (IAC) anual para a estação de Caravelas, Bahia.

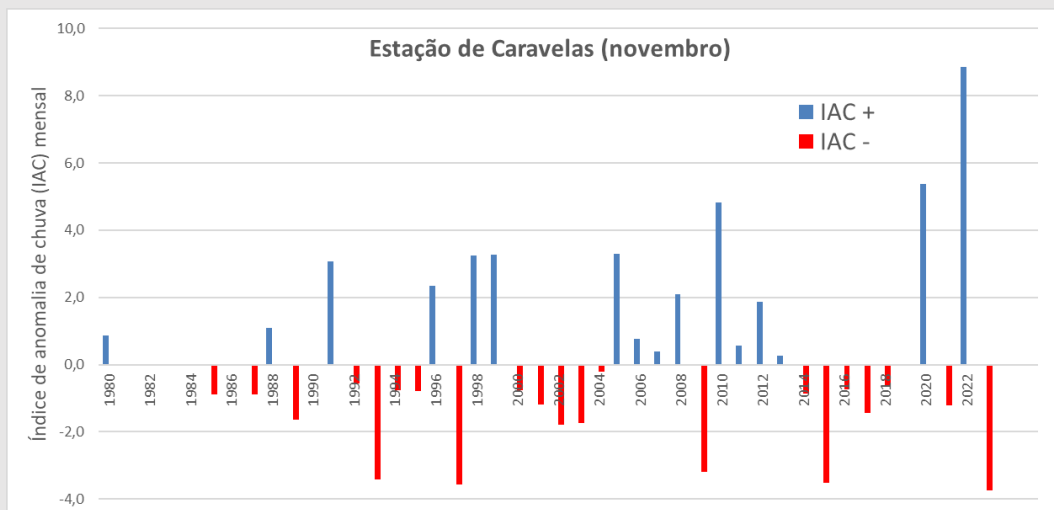


Fonte: Autoria própria

Não obstante ao suposto equilíbrio das anomalias de chuvas anuais abordado anteriormente, um recorte entre os seis anos mais recentes da série analisada (2018 a 2023) é importante de se ressaltar pela ausência de valores de IAC em cinco deles. Tal fato se deve a falhas de registros dos dados mensais disponibilizados pela INMET. Desses seis anos, apenas em 2021 a série anual apresentou todas as precipitações mensais disponíveis. Esse recorte é uma limitação dos resultados aqui dispostos, pois, pela metodologia, a quantidade de dados de entrada influencia nas médias de precipitação e, conseqüentemente, nos valores nominais dos respectivos índices anomalia de chuva de cada ano. Ou seja: caso alguma tendência tenha ocorrido nesses seis anos mais recentes, o comportamento temporal da Figura 2 não consegue identifica-la.

Todavia, conforme se apresentam nas Figuras 3 e 4, essa limitação é superada quando são analisados os comportamentos temporais das anomalias de chuva em períodos mensais, no caso, como já explicado na metodologia, para os dois meses mais chuvosos, que para Caravelas são novembro e dezembro.

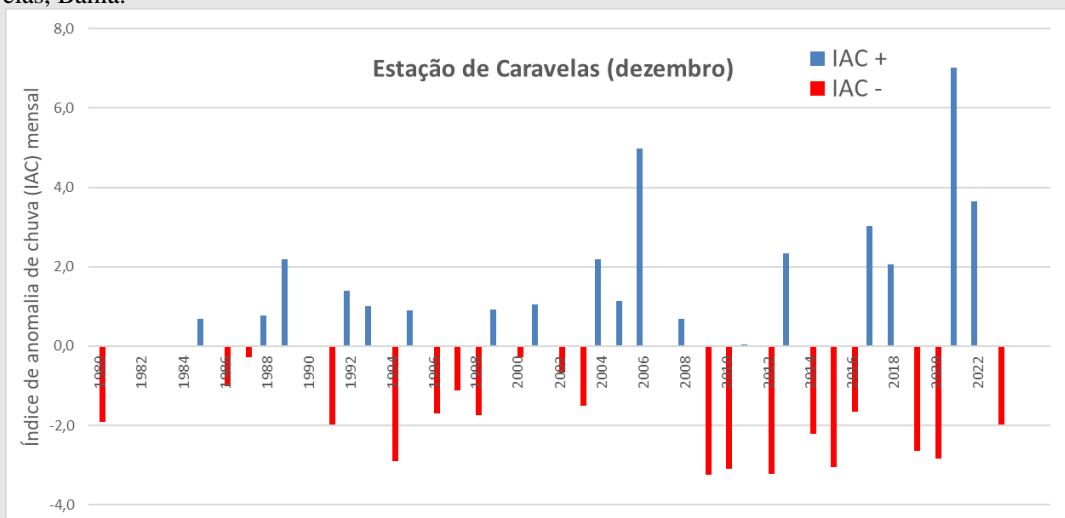
Figura 3. Distribuição temporal do índice de anomalia de chuva (IAC) dos meses de novembro para a estação de Caravelas, Bahia.



Fonte: Autoria própria

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n.2, p. 48-63, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981-4089

Figura 4. Distribuição temporal do índice de anomalia de chuva (IAC) dos meses de dezembro para a estação de Caravelas, Bahia.



Fonte: Autoria própria

As Figuras 3 e 4 apresentam maior quantidade de valores de IAC do que a Figura 2, embora utilizem o mesmo conjunto dados porque entre 1980 e 2023 a estação de Caravelas apresentou apenas sete falhas para o mês de novembro e cinco para dezembro, sendo a maioria delas entre 1981 e 1984. Como se pode observar, as maiores anomalias mensais obtidas foram em anos recentes. Para o mês de novembro, os anos de 2022 (IAC = +8,8) e 2020 (IAC = +5,4) foram os dois de registros mais elevados e para o mês de dezembro esses anos foram 2021 (IAC = +7,0) e 2006 (IAC = +5,0), com o ano de 2022 (IAC = +3,6) sendo o terceiro. Essa conjuntura revela um comportamento preocupante: as chuvas mensais de maiores volumes históricos têm ocorrido nos anos mais recentes e em sua maioria na classe de intensidade mais severa, que é a extremamente úmida, que ocorre quando os valores de IAC são superiores a +4,0. Embora o ano de 2023 tenha apresentado IAC negativo para novembro (IAC = -3,8) e dezembro (IAC = -2,0), tal fato se deve à influência dos elevados valores pluviométricos antes de 2023, ou seja: 2021 e 2022.

Assim, referente às anomalias de chuva calculadas, a informação mais relevante obtida pelo presente estudo para o panorama do município de Caravelas em termos de planejamento urbano é que, embora a pluviometria anual não tenha apresentado grandes mudanças em seu volume, o mesmo não se pode dizer de seus volumes mensais, uma vez que em anos recentes têm precipitado volumes recordes nos meses de novembro e dezembro. Isso implica que a chuva que era esperada de incidir no município em um maior período de tempo tem se concentrado

nesses meses citados. Dessa forma, principalmente em ambientes urbanos, é necessário que sejam expandidos os sistemas de drenagem pluvial, uma vez que caso seja incidida uma precipitação pluvial superior à de projeto, as bocas coletoras, as galerias subterrâneas e os outros elementos que compõem o referido sistema irão sobrecarregar e provocar o acúmulo de água da chuva, que é a ocorrência de alagamento (PORTO *et al.*, 2015).

Concernente à outra estação pluviométrica convencional aqui estudada (Guaratinga), dos 36 anos completos quanto às precipitações mensais e que, portanto, tiveram seus Índices de Anomalia de Chuva calculados, os valores variaram entre os extremos de -4,0 (ano de 2015) e de +4,4 (1980), sendo obtidos 18 IAC positivos e 18 negativos, com um valor acumulado entre todos os 36 anos de +7,4. A distribuição das categorias de intensidade dos IAC anuais de Guaratinga está apresentada na Tabela 4.

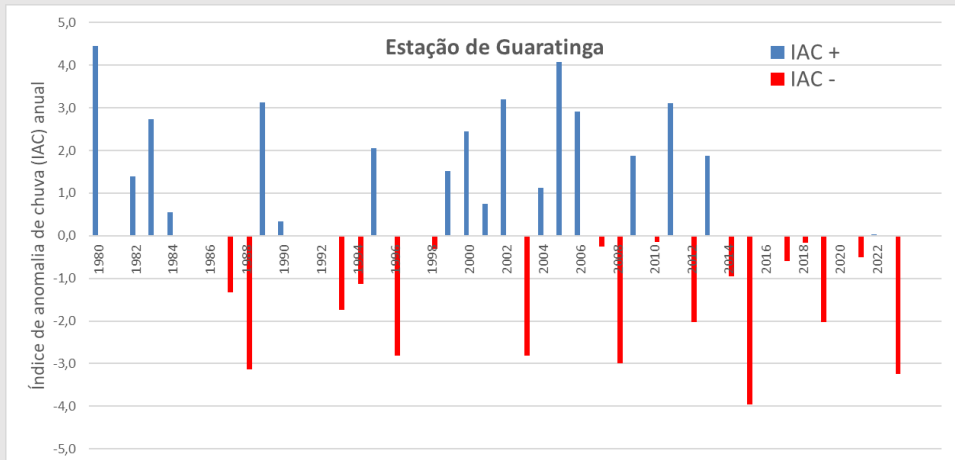
Tabela 4. Categorização dos valores anuais do índice de anomalia de chuva para a estação de Guaratinga

Classe de intensidade	Quantidade de IAC
Extremamente úmido	2
Muito úmido	7
Úmido	9
Seco	10
Muito Seco	8
Extremamente Seco	0
Total	36

Fonte: autoria própria

De forma similar ao observado para a estação de Caravelas (Tabela 3), não foram frequentes as ocorrências de anomalias extremas para o período estudado em Guaratinga, visto que nenhum ano apresentou IAC inferior a -4,0 (categoria extremamente seca) e apenas dois anos se enquadraram como extremamente úmidos, quais sejam: 1980 (IAC = +4,4) e 2005 (IAC = +4,0). Também similarmente à situação já discutida para o município de Caravelas, os dados disponibilizados para Guaratinga não apresentam grandes discrepâncias quanto aos valores anuais do índice de anomalia de chuva, tal como se apresenta em distribuição temporal por intermédio da Figura 5.

Figura 5. Distribuição temporal do índice de anomalia de chuva (IAC) anual para a estação de Guaratinga, Bahia.



Fonte: Autoria própria

Em recorte para os 10 anos mais recentes da série histórica (2014 a 2023) ressalta-se que em oito desses anos o IAC foi negativo, no ano de 2022 o IAC foi aproximadamente zero e não foi possível o cálculo para 2020, devido à ausência de dados. Assim, ainda dentro desses anos recentes pode-se observar de forma nítida uma tendência de menor incidência de chuvas quanto ao volume anual, ou seja: nos últimos 10 anos tem chovido menos quando se comparam esses valores com a média da série histórica entre 1980 e 2023.

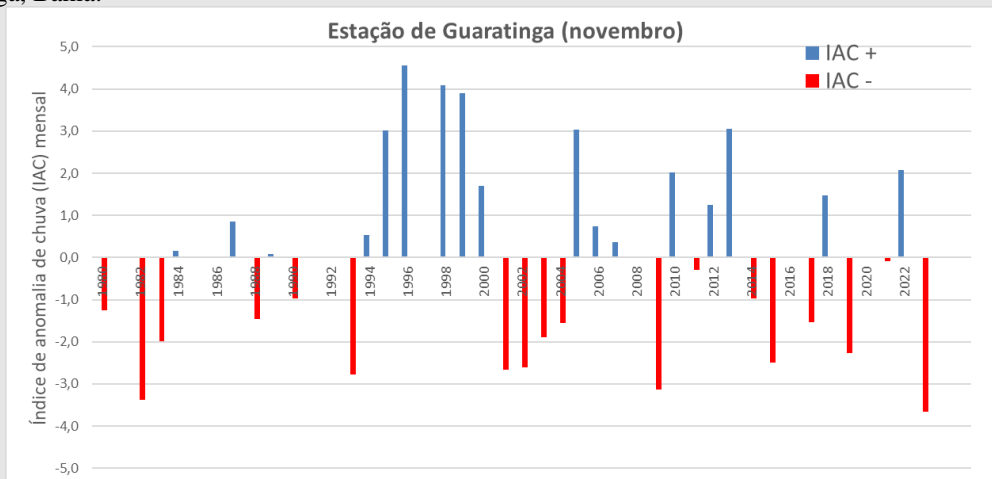
No que se refere à distribuição temporal dos índices mensais de anomalia de chuva em Guaratinga para os meses mais chuvosos (novembro e dezembro), conforme apresentam as Figuras 6 e 7, os anos de maiores chuvas mensais são longínquos: 1996 para novembro (IAC = +4,6) e 1989 para dezembro (IAC = +6,5). Todavia, especificamente para o ano de 2022 os meses de novembro (IAC = +2,1) e dezembro (IAC = +3,3) foram considerados como muito úmidos, pela classificação já apresentada na Tabela 1 por retornarem valores entre +2,0 e +4,0.

Ainda em referência às anomalias mensais representadas pelas Figuras 6 e 7, observa-se para o mês de dezembro um predomínio de eventos mais chuvosos do que em novembro, visto que os 36 dados históricos de dezembro resultaram em 21 anomalias positivas e 15 negativas, sendo o IAC acumulado desses anos igual a +4,9. Ou seja: especificamente no mês de dezembro tem chovido mais que o esperado quando se comparam os resultados de cada ano desse mês com a média histórica. Corroborando com tal afirmação, é significativo o valor do IAC de dezembro de 2021, que foi de +5,2, o que o classifica como extremamente úmido. Assim, pode-se afirmar que, com base nos valores de IAC calculados para o mês de dezembro, a cidade de

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n.2, p. 48-63, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981-4089

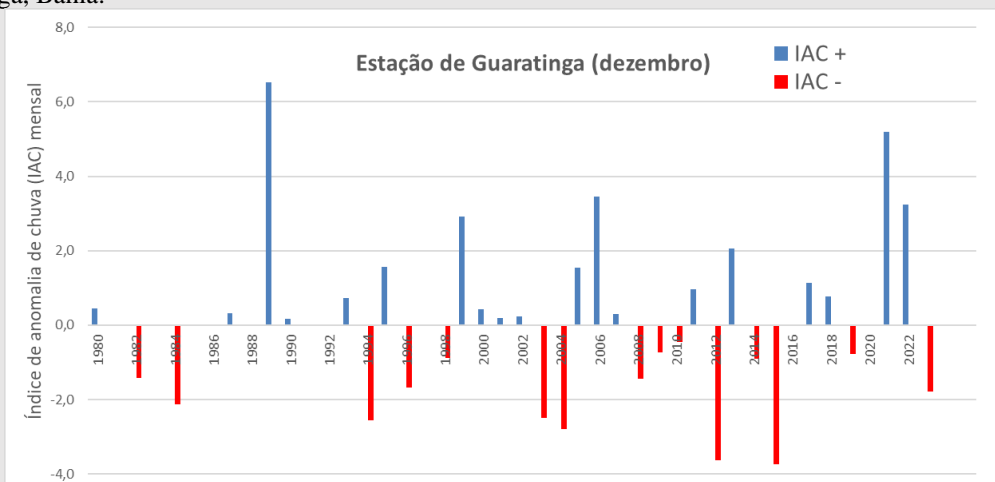
Guaratinga deveria ser alvo de preocupação específica, pois embora os valores recentes anuais de IAC não tenham apresentado valores muito elevados (Figura 5), os valores mensais de dezembro retornaram IACs classificados até como extremamente úmido. Essa possível concentração maior de chuvas num mês acarreta, como já discutido para o panorama de Caravelas, maior demanda aos serviços de drenagem pluvial, os quais frequentemente foram projetados há décadas e suas expansões em cidades pequenas nem sempre são precedidas de adequado projeto (PORTO *et al.*, 2015).

Figura 6. Distribuição temporal do índice de anomalia de chuva (IAC) dos meses de novembro para a estação de Guaratinga, Bahia.



Fonte: Autoria própria

Figura 7. Distribuição temporal do índice de anomalia de chuva (IAC) dos meses de dezembro para a estação de Guaratinga, Bahia.



Fonte: Autoria própria

Devido à inexistência de estudo que também tenha identificado e/ou analisado tendências anômalas do regime de chuva nas cidades de Caravelas e Guaratinga, ou mesmo na região do sul do estado da Bahia entre 1980 e 2023 ou período similar, não foi possível a comparação dos resultados aqui obtidos com outras publicações científicas equivalentes. Todavia, especificamente a chuva que incidiu no final do ano de 2021 no norte de Minas Gerais e no Sul da Bahia foi analisada por Marengo *et al.* (2023), que observaram que em Caravelas choveu 230% acima do esperado em dezembro de 2021, resultado esse consonante com os aqui apresentados, que incluem um valor de IAC de +7,0, o maior para esse mês nessa estação entre 1980 e 2023, conforme visualizado na Figura 4. Nesse contexto, esses mesmos autores afirmam que as mudanças climáticas podem explicar ao menos parcialmente a mudança no regime de chuvas numa região, pois as chuvas extremas recordes aumentaram em todo mundo na última década. O referido estudo ainda pondera que as vulnerabilidades a desastres naturais, como inundações e deslizamentos, aumentaram devido ao aglomerado da população em áreas suscetíveis, além do uso insustentável da terra em áreas urbanas e rurais.

Ademais, sabe-se que comparar os resultados de dados climáticos advindos de regiões diferentes não faz sentido, pois as características intrínsecas de cada região exercem influência significativa no regime de chuvas (BERTONI e TUCCI, 2015). De toda forma, os resultados da presente pesquisa explicitam que, embora não tenha sido identificada uma grande tendência histórica de chuvas anuais tanto para Caravelas quanto para Guaratinga, observou-se que nos anos mais recentes da série histórica tem ocorrido intensas anomalias de sinal positivo em ambas as cidades para os meses de novembro e dezembro. Essa tendência implica em volume mensais de chuvas maiores para esses meses, o que pode gerar sérios prejuízos materiais e de vidas humanas, como observado recentemente no ano de 2021.

Logo, a conjuntura de informações converge para uma necessidade de adequação das políticas públicas inerentes a planejamento urbano e prevenção a desastres naturais concernentes a eventos de chuvas intensas, pois uma incidência pluviométrica de grandes proporções possui elevado potencial para ocorrência de inundações, alagamentos, destruição de elementos da infraestrutura urbana, deslocamento de populações de suas residências, prejuízos a sistemas de abastecimento de água e até mesmo riscos a vidas humanas. Embora apenas as estações pluviométricas localizadas nas cidades de Caravelas e Guaratinga tenham apresentado séries históricas passíveis de estudo hidrológico pelo índice de anomalia de chuvas, o panorama

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n.2, p. 48-63, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981-4089 obtido pode servir também para as cidades próximas às aqui estudadas, visto que pela proximidade geográfica, as condições climáticas tendem a ser similares.

Conclusão

Embora a região do sul do estado da Bahia seja composta por 70 municípios, a rede de monitoramento pluviométrico no Instituto Nacional de Meteorologia possui apenas sete estações nela, das quais em somente duas foi possível realizar o estudo hidrológico utilizando o índice de anomalia de chuvas: Caravela e Guaratinga.

Essas duas estações apresentaram comportamento de ausência de tendência anômala quanto aos dados anuais de precipitação. Em contrapartida, ao se analisarem os dados mensais de precipitação para novembro e dezembro (os mais chuvosos para ambos os casos), observou-se que anomalias extremas de excesso de chuva ocorreram nos anos de 2021 e 2022 registradas para Caravelas. Quanto à estação de Guaratinga, esses eventos de muita chuva foram menos intensos nos meses citados, embora dezembro tenha apresentado tendência a maior volume mensal de chuvas, tanto de forma histórica quanto num recorte de anos recentes.

Esse panorama de maiores volumes de chuva concentrados nos meses de novembro e/ou dezembro requer maior atenção quanto à redefinição ou atualização de políticas públicas regionais voltadas à prevenção de desastres naturais correlatos a enchentes, inundações e deslizamento de terra, visando a minimização de danos materiais e a preservação da vida humana.

Referências

ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Classificação da precipitação anual e da quadra chuvosa da bacia do rio Paraíba utilizando índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Ambiente & Água**, v.4, n.3, p. 93-110, 2009.

BERTONI, J. C.; TUCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed., Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2015.

BEZERRA, A. C.; COSTA, S. A. T.; SILVA, J. L. B.; ARAÚJO, A. M. Q.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O.; NASCIMENTO, C. R. Annual Rainfall in Pernambuco, Brazil: Regionalities, Regimes, and Time Trends. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3, p. 403–414, 2021

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n.2, p. 48-63, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981-4089

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, n. 6, 09 de janeiro de 1997, Seção 1, p. 470-474.

CLARK, R. T. Hidrologia Estatística. In: TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed., Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Banco de Dados Meteorológicos do INMET**. Disponível em < <https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 11 jun. 2024.

LIMA, A. F. B.; FERREIRA, J. B.; MOREIRA, J. G. C.; NASCIMENTO, L. O.; SANTOS, D. M.; SANTOS, V. B.; ARAUJO, D. R. Spatio-temporal distribution of rainfall anomalies in Acre. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 02, p. 741-754, 2023.

MARENGO, J. A.; SELUCHI, M. E.; CUNHA, A. P.; CUARTAS, L. A.; GONCALVES, D.; SPERLING, V. B.; RAMOS, A. M.; SAITO, G. D. S.; BENDER, F.; LOPES, T. R.; ALVALA, R. C.; MORAES, O. L. Heavy rainfall associated with floods in southeastern Brazil in November–December 2021. **Natural Hazards**, n. 116, p. 3617–3644, 2023.

PORTO, R. L.; ZAHED FILHO, K.; TUCCI, C. E. M.; BIDONE, F. Drenagem Urbana. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed., Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2015.

ROOY, M. P. V. A rainfall anomaly index independent of time and space. **Notas**, v.14, n.43, p.43-48, 1965.

SANTOS, C. A. G.; SANTOS, D. C.; BRASIL NETO, R. M.; OLIVEIRA, G.; SANTOS, C. A. C.; SILVA, R. M. Analyzing the impact of ocean-atmosphere teleconnections on rainfall variability in the Brazilian Legal Amazon via the Rainfall Anomaly Index (RAI), **Atmospheric Research**, v. 307, p. 107483, 2024.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA – SEI. **Perfil dos Territórios de Identidade**. v.1, Salvador: SEI, 2015.